

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年 7 月 1 日 (01.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/055560 A1(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G02B 6/10, 6/34

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/015563

(74) 代理人: 中野 稔, 外 (NAKANO, Minoru et al.); 〒554-0024 大阪府 大阪市此花区 島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).

(22) 国際出願日: 2003 年 12 月 4 日 (04.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願 2002-363345  
2002 年 12 月 16 日 (16.12.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒541-0041 大阪府 大阪市中央区 北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 後 利彦 (USHIRO, Toshihiko) [JP/JP]; 〒664-0016 兵庫県 伊丹市 昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 大久保 総一郎 (OKUBO, Soichiro) [JP/JP]; 〒664-0016 兵庫県 伊丹市 昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 松浦 尚 (MATSUURA, Takashi) [JP/JP]; 〒664-0016 兵

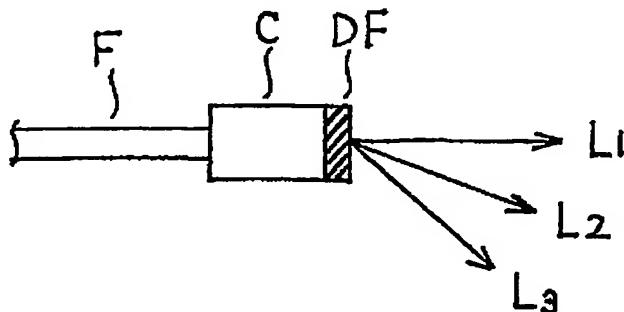
添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: OPTICAL FIBER HAVING DIFFRACTIVE OPTICAL FILM ON END AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 端部に回折光学膜を有する光ファイバとその製造方法



(57) Abstract: An optical fiber having a practical, small diffractive optical film on an end is efficiently manufactured at low cost. A diffractive optical film (DF) is formed on an end face of an optical fiber (F) or on an end face of a collimator joined to the end face of the optical fiber. The diffractive optical film (DF) comprises a translucent DLC (diamond-like carbon) layer, and this translucent DLC layer includes a modulated refractive-index diffraction grating having a local region of a relatively high refractive index and another local region of a relatively low refractive index.

(57) 要約: 実用的で小さな回折光学膜を端部に有する光ファイバを効率的に低コストで提供する。光ファイバ (F) はその端面上またはその端面に接合されたポリメータ (C) の端面上に形成された回折光学膜 (DF) を含み、この回折光学膜は透光性 DLC (ダイヤモンド状炭素) 層を含み、この DLC 層は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低屈折率の局所的領域を含む屈折率変調型回折格子を含んでいる。

## 明細書

## 端部に回折光学膜を有する光ファイバとその製造方法

## 技術分野

- 5 本発明は端部に回折光学膜を有する光ファイバとその製造方法に関し、より具体的には、波長合分歧、パワー合分歧、偏光合分歧、波長板、または光アイソレータの機能を有する回折光学膜を端部に有する光ファイバとその製造方法に関する。

## 10 背景技術

周知のように、光の回折を生じさせる回折光学素子は、種々の用途に利用され得る。たとえば、光通信分野で使用される波長合分波器、光カプラ、光アイソレータなどは、回折光学素子を利用して作製することができる。

- 15 一般に、回折光学素子は、透光性基板上に回折格子層を形成することによって作製される。その回折格子層の構造的相違に基づいて、回折光学素子は屈折率変調型とレリーフ型とに大別される。

- 図14は、屈折率変調型回折光学素子の一例を模式的な断面図で示している。なお、本願の図面において、幅や厚さのような寸法関係は図面の明瞭化と簡略化のために適宜に変更されており、実際の寸法関係を反映してはいない。この屈折率変調型回折光学素子は、透光性基板11上に形成された回折格子層12aを含んでおり、この回折格子層12aには屈折率変調構造が形成されている。すなわち、回折格子層12aにおいては、相対的に小さな屈折率 $n_1$ を有する局所的領域と相対的に大きな
- 20 屈折率 $n_2$ を有する局所的領域とが周期的に交互に形成されている。そして、低屈折率 $n_1$ の領域を通過した光と高屈折率 $n_2$ の領域を通過した光との間で生じる位相差に起因して回折現象が生じ得る。

屈折率変調構造を有する回折格子層12aは、たとえばエネルギービーム照射を受けることによって屈折率が増大する材料を用いて形成するこ

とができる。たとえば、Geがドーパされた石英ガラスは、紫外線照射によってその屈折率が増大することが知られている。また、石英ガラスにX線を照射することによってもその屈折率が増大することが知られている。すなわち、透光性基板11上に屈折率 $n_1$ の石英系ガラス層を堆積し、そのガラス層にエネルギービームを周期的パターンで照射して局所的に屈折率を $n_2$ に高めることによって、図14に示されているような回折格子層12aを形成することができる。

図15は、レリーフ型回折光学素子の一例を模式的な断面図で示している。このレリーフ型回折光学素子は、透光性基板11上に形成された回折格子層12bを含んでおり、この回折格子層12bにはレリーフ構造が形成されている。すなわち、回折格子層12bにおいては、相対的に大きな厚さを有する局所的領域と相対的に小さな厚さを有する局所的領域とが周期的に交互に形成されている。そして、大きな厚さの領域を通過した光と小さな厚さの領域を通過した光との間で生じる位相差に起因して回折現象が生じ得る。

レリーフ構造を有する回折格子層12bは、たとえば、透光性基板11上に石英系ガラス層を堆積し、フォトリソグラフィとエッチングを利用してそのガラス層を加工することによって形成され得る。

図16は、屈折率変調型回折光学素子のもう1つの例を模式的な断面図で示している。図16の屈折率変調型回折光学素子は図14のものに類似しているが、図16中の回折格子層12c内には互いに異なる3レベルの屈折率 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ を有する局所的領域が周期的に配列されている。このように、回折格子層12c内において3レベルの屈折率 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ を有する局所的領域は、たとえば、基板11上に屈折率 $n_1$ の石英系ガラス層を堆積して、そのガラス層に対して2通りの異なるエネルギーレベルのエネルギービームを照射することによって形成され得る。

多（マルチ）レベルの屈折率の局所的領域を含む回折格子によれば、単純な2（バイナリ）レベルの屈折率の領域を含む回折格子の場合に比べて、回折効率が向上し得る。ここで、回折効率とは、入射光のエネル

ギに対する回折光エネルギーの総和の比率を意味する。すなわち、回折光を利用する観点からは、回折効率の大きい方が好ましい。

図 1 7 は、レリーフ型回折光学素子のもう 1 つの例を模式的な断面図で示している。図 1 7 レリーフ型回折光学素子は図 1 5 のものに類似しているが、図 1 7 中の回折格子層 1 2 d 内には互いに異なる 3 レベルの厚さを有する局所的領域が周期的に配列されている。このように、回折格子層 1 2 d 内において 3 レベルの厚さを有する局所的領域は、たとえば、基板 1 1 上に石英系ガラス層を堆積して、そのガラス層に対してフォトリソグラフィとエッチングによる加工を 2 回繰り返すことによって形成され得る。このように多レベルの厚さを有する局所的領域を含む回折格子によっても、単純な 2 レベルの厚さを含む回折格子の場合に比べて、回折効率が向上し得る。

なお、図 1 4 と図 1 6 においては回折格子層中の屈折率がステップ状に変化させられた屈折率変調型回折格子が示されたが、屈折率が連続的に変化させられた屈折率変調型回折格子も形成可能である。その場合には、屈折率を高めるために照射されるエネルギービームのエネルギー量を連続的に変化させればよい。

図 1 8 は、光通信分野における回折光学素子の利用の一例を模式的に示してゐる。この図において、光ファイバ F 0、F 1、F 2 の端面にはそれぞれコリメータ C 0、C 1、C 2 が接合されている。光ファイバ F 0 によって導入されてコリメータ C 0 を介して射出された平行光ビーム L は、回折光学素子 D E によって、例えば波長  $\lambda_1$  の光ビームと波長  $\lambda_2$  の光ビームとに分割され得る。これは、光の回折角が波長  $\lambda$  に依存して異なるからである。

そして、 $\lambda_1$  の波長を有する光ビームをコリメータ C 1 から光ファイバ F 1 内に入力し、 $\lambda_2$  の波長を有する光ビームをコリメータ C 2 から光ファイバ F 2 内に入力することが可能である。すなわち、この場合には、回折光学素子 D E の波長分岐機能が利用されている。もちろん、逆に、光ファイバ F 1 からコリメータ C 1 を介して射出された波長  $\lambda_1$  の

光ビームと光ファイバF 2からコリメータC 2を介して射出された波長  
λ 2の光ビームとを回折光学素子D Eによって合体させて、コリメータ  
C 0を介して光ファイバF 0内に入力することも可能である。すなわ  
ち、回折光学素子D Eは波長合分岐機能を発揮し得る。そして、このよ  
うな波長合分岐機能を有する回折光学素子は、波長分割多重(WDM)  
光通信において重要な役割を果たし得る。

上述のような屈折率変調型回折光学素子は原理的には作製可能である  
が、実用的な屈折率変調型回折光学素子を得ることは困難である。なぜ  
ならば、たとえば石英系ガラスにエネルギービームを照射することによ  
って得られる屈折率変化量はせいぜい0.002程度であって、効果的な  
回折格子層を形成することが困難だからである。

したがって、現在では、たとえば特許文献1の特開昭61-2138  
02号公報や非特許文献1のApplied Optics、Vol.41、2002、pp.35  
58-3566に述べられているように、回折光学素子としてレリーフ型が利  
用されるのが一般的である。しかし、レリーフ型回折光学素子の作製に  
必要なフォトリソグラフィやエッチングはかなり複雑な加工工程であ  
り、相当の時間と手間を要する。また、そのエッチング深さを精度よく  
制御することが容易でない。さらに、レリーフ型回折光学素子において  
は、その表面に微細な凹凸が形成されているので、埃や汚れが付着しや  
すいという問題もある。

他方、例えば図18に示されているような光合分波回路においては、  
支持ベース(図示せず)上において光ファイバF 0～F 2に関して約数  
mm径の回折光学素子D Eを調芯して配置固定しなければならない。す  
なわち、従来の回折光学素子は光ファイバと別個の光学部品であり、取  
り扱いの手間が掛かると共に、光回路の小型化を困難にさせている。

以上のような先行技術における状況に鑑み、本発明は、実用的で小さ  
な回折光学膜を端部に有する光ファイバを効率的に低コストで提供する  
ことを目的としている。

(特許文献 1)

特開昭 6 1 - 2 1 3 8 0 2 号公報

(非特許文献 1)

Applied Optics, Vol.41, 2002, pp.3558-3566

5

#### 発明の開示

本発明によれば、光ファイバはその端面上またはその端面に接合された  
10 コリメータの端面上に形成された回折光学膜を含み、この回折光学膜  
は透光性 D L C (ダイヤモンドライクカーボン: ダイヤモンド状炭素)  
層を含み、この D L C 層は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低  
屈折率の局所的領域を含む回折格子を含んでいることを特徴としてい  
る。

そのような回折光学膜は、複数の波長を含む 1 つの光ビームを波長に  
依存して複数の光ビームに分割することができ、かつ異なる波長を有す  
15 る複数の光ビームを単一の光ビームに合体させることができる波長合分岐  
の機能を有し得る。

また、そのような回折光学膜は、単一波長の光ビームを複数の光ビー  
ムに分割することができ、かつ単一波長の複数の光ビームを単一の光ビー  
ムに合体させることができるパワー合分岐の機能を有し得る。

20 さらに、そのような回折光学膜は、単一波長の光ビームに含まれる T  
E 波と T M 波を分離しかつ合体させることができる偏光合分岐の機能を  
有し得る。さらに、そのような回折光学膜は、単一波長の光ビームに含  
まれる T E 波または T M 波に対して波長板の機能を有し得る。

さらに、上述の偏光分岐の機能を有する回折格子を含む第 1 の D L C  
25 層と波長板の機能を有する回折格子を含む第 2 の D L C 層とを組合せて  
光アイソレータの機能を生じさせることも可能である。そのような光ア  
イソレータの機能を有する回折光学膜の厚さが  $20 \mu\text{m}$  以下の場合、コ  
リメータや集光レンズを要することなくその回折光学膜を介して 2 つの  
光ファイバ端面を当接接続することが可能である。なぜならば、 $20 \mu$

m以下の小さな距離における光の発散はわずかなからである。したがって、そのように薄い回折光学膜が形成されている光ファイバの端部は、他の光ファイバの端面と当接接続させるためのコネクタに保持されていることが好ましい。なお、第1のDLCL層と第2のDLCL層との間に透光性  
5 透光性中間層が挿入されてもよい。

さらに、そのような回折光学膜は、 $0.8\mu\text{m} \sim 2.0\mu\text{m}$ の範囲内の波長を含む光に対して作用し得る回折格子を含み得る。

上述のような本発明による光ファイバを製造するための方法においては、DLCL層に所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を  
10 高めることによって、回折格子に含まれる高屈折率領域を形成することができる。

光アイソレータの機能を生じさせるための第1のDLCL層と第2のDLCL層との間に透光性中間層が挿入される場合には、光ファイバの端面上またはその端面に接合されたコリメータの端面上に第1のDLCL層  
15 を堆積し、その第1のDLCL層に第1の所定のパターンでエネルギービームを照射して高屈折率領域を形成し、透光性中間層と第2のDLCL層を順次堆積し、その第2のDLCL層に第2の所定のパターンでエネルギービームを照射して高屈折率領域を形成し、透光性中間層は第2の所定の  
20 パターンでエネルギービームを第2のDLCL層に照射するときそのエネルギービームが第1のDLCL層に影響を及ぼすことを防止するように作用し得る。

屈折率を高めるためのエネルギービームは、X線、電子線、およびイオンビームから選択され得る。また、DLCL層は、プラズマCVD法によって堆積され得る。

25

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明において一方端部に回折光学膜を有する光ファイバを示す模式図である。

図2は、本発明における回折光学膜の作製法の一例の過程を図解する

模式的な断面図である。

図 3 は、本発明における回折光学膜の作製法の一例の過程を図解する模式的な断面図である。

図 4 は、本発明における回折光学膜の作製法の一例の過程を図解する模式的な断面図である。

図 5 は、本発明における波長合分岐器の波長分岐作用を図解する模式的な断面図である。

図 6 は、本発明における波長合分岐器によって分岐された光の波長と強度分布との関係の一例を示すグラフである。

図 7 は、本発明における光パワー分岐器における回折格子パターンの一例を示す模式的な平面図である。

図 8 は、本発明における光パワー分岐器におけるパワー分岐作用を図解する模式的な断面図である。

図 9 は、図 7 の光パワー分岐器によってパワー分岐された複数の回折ビームに直交する面内におけるビーム分布を示す平面図である。

図 10 は、本発明における偏光分岐器における偏光分岐作用を図解する模式的な断面図である。

図 11 は、本発明において光アイソレータとして作用し得る回折光学膜の機能を図解する模式的な斜視図である。

図 12 は、本発明による光アイソレータを端部に有する光ファイバを図解する模式図である。

図 13 は、本発明による光アイソレータを端部に有する光ファイバがファイバコネクタによって他の光ファイバに接続された状態を示す模式的断面図である。

図 14 は、従来の屈折率変調型回折光学素子の一例を示す模式的な断面図である。

図 15 は、従来のレリーフ型回折光学素子の一例を示す模式的な断面図である。

図 16 は、従来の屈折率変調型回折光学素子のもう 1 つの例を示す模



式的な断面図である。

図 1 7 は、従来のレリーフ型回折光学素子のもう 1 つの例を示す模式的な断面図である。

図 1 8 は、光通信における従来の波長分岐回路を示す模式図である。

5 図 1 9 は、光通信において用いられる従来のアイソレータを示す模式図である。

発明を実施するための最良の形態

10 図 1 は、本発明による光ファイバの一例を模式的に図解している。この光ファイバにおいては、約  $10\ \mu\text{m}$  径のコア層を含みかつ約  $125\ \mu\text{m}$  の外径（クラッド層を含む）を有する光ファイバ F の端面に円柱状のコリメータ C が接合されている。その円柱状コリメータ C は約  $3\ \text{mm}$  径の断面を有し、光ファイバ F からの光を約  $350\ \mu\text{m}$  の断面径の平行光ビームにして射出する。

15 円柱状コリメータ C は、平坦な両端面を有している。そのような円柱状コリメータ C として、半径方向に屈折率が連続的に変化していることによりレンズとして作用する分布屈折率レンズを利用し得る。分布屈折率レンズとしては、イオン交換法や拡散重合法などを利用したガラス製やプラスチック製のものが製造されている。

20 円柱状コリメータ C の両端面のうちで光ファイバ F が接合されていない方の端面上には、透光性 DLC（ダイヤモンド状炭素）層を含む回折光学膜 D F が形成されている。その DLC 層は、イオンビームのようなエネルギービーム照射によって局所的に屈折率が高められて形成された屈折率変調型回折格子を含んでいる。したがって、光ファイバ F からコリメータ C を介して射出される光ビームは、回折光学膜 D F によって回折  
25 され、その回折角に依存して例えば複数の光ビーム L 1、L 2、L 3 などに分離される。他方、それらの複数の光ビーム L 1、L 2、L 3 などを逆方向に回折光学膜 D F へ入射させれば、それらの光ビームが回折光学膜 D F で一体化されて、コリメータ C を介して光ファイバ F 内に入射

されることは言うまでもない。

(実施形態 1)

図 2 から図 4 は、本発明の実施形態 1 における屈折率変調型回折光学膜の作製方法の一例を図解する模式的な断面図である。

- 5 図 2 に示されているように、屈折率 1.44 を有しかつ 5 mm×5 mm の主面を有する SiO<sub>2</sub> 基板 1 上に、DLC 層 2 がプラズマ CVD によって 2 μm の厚さに堆積された。

- 図 3 においては、DLC 層 2 上に、リフトオフ法によって金マスク 3 が形成された。この金マスク 3 においては、幅 0.5 μm で長さ 5 mm の金ストライプが 0.5 μm の間隔を隔てて繰り返し配列されていた。  
10 すなわち、この金マスク 3 は、ライン・アンド・スペースのパターンを有していた。その後、金マスク 3 の開口部を介して、800 keV の加速電圧の下で He イオンビーム 4 が  $5 \times 10^{17} / \text{cm}^2$  のドーズ量で DLC 層 2 に直交する方向に注入された。

- 15 その結果、DLC 層 2 のうちで He イオンが注入されなかった領域は 1.55 の屈折率を有していたが、He イオンが注入された領域 2a の屈折率は 2.05 に高められていた。このような DLC 層における屈折率変化は石英系ガラスにおいて得られる屈折率変化に比べてはるかに大きいものであり、十分に回折効率の大きな回折格子層の形成が可能となる。  
20

図 4 において、金マスク 3 がエッチングによって除去され、屈折率変調型回折光学膜 DF が得られた。なお、この回折光学膜 DF における回折格子層 2 は、屈折率 1.55 と 2.05 との 2 種類の領域を含んでおり、いわゆるバイナリ・レベルの回折格子層である。

- 25 図 5 は、得られた屈折率変調型回折光学膜 DF を波長合分岐器として使用する場合における波長分岐作用を模式的な断面図で図解している。この断面図において、黒い断面領域は相対的に高い屈折率の領域を表わし、白い断面領域は相対的に低い屈折率の領域を表わしている。図 5 に表わされているように、たとえば複数の波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  を含む単

一の光ビームを回折光学膜D Fに入射させれば、その回折光学膜を通過する光の回折角は波長に依存して互いに異なる。その結果、複数波長を含む単一の入射光ビームが、波長ごとに進行方向の異なる複数の回折光ビームに分離され得るのである。

- 5      もちろん、図5中の矢印で示された入射光ビームと回折光ビームとの向きを逆にすれば、図5の回折光学膜D Fが合波器として利用され得ることが明らかであろう。なお、回折光学膜が波長分岐器として使用される場合、光ビームは、一般に回折光学膜の表面の法線に対して0～70度程度の範囲内の適切な角度で入射させられる。ただし、この角度範囲
- 10    は高屈折領域がD L C層面に直交する方向に形成されている場合に関するものであり、たとえばイオンビームをD L C層面に対して斜め方向に照射して高屈折領域がD L C層面に傾斜して形成されている場合には、その傾斜角を考慮して光ビームの入射角が調整される。

- 本実施形態1において、イオンビームの斜め照射によって幅0.5  $\mu$ m
- 15    mの金ストライプが0.5  $\mu$ mの間隔で繰り返し配列されたライン・アンド・スペースのパターンを有する回折光学膜D FがコリメータCの一方端面上に形成され、図1に示されているように、そのコリメータCの他端が光ファイバFの端面に接続された。

- 図6は、そのような回折光学膜D Fが端面に形成されたコリメータC
- 20    を一端に備えた光ファイバFにおける波長分岐結果の一例を模式的に示すグラフである。このグラフの横軸は回折光の波長(nm)を表し、縦軸は回折光の強度を任意単位で表わしている。この場合において、1.5～1.6  $\mu$ mの波長範囲と350  $\mu$ mのビーム径を有する光が、光ファイバFとコリメータCを介して、回折光学膜D Fに入射させられた
- 25    (図1参照)。その結果、図6に示されているように、1.5  $\mu$ mから1.6  $\mu$ mの間で20 nm間隔で分布した波長を有する5本の回折光ビームが得られ、それら5本の回折光ビームはほぼ等しい強度を有していた。そして、このときの回折効率はや99%であり、十分に優れた波長分岐特性が得られた。

なお、実施形態 1 においてはライン状の 1 次元的回折格子パターンが用いられているので、複数の回折光ビームは入射光ビームを含む 1 つの平面に沿って存在する。しかし、次に述べる実施形態 2 におけるように 2 次元的回折格子パターンを用いることによって、複数の回折光ビームの直交断面を 2 次元的に分布させ得ることは言うまでもない。

(実施形態 2)

図 7 は、実施形態 2 における回折光学膜の 2 次元的回折格子パターンを模式的な平面図で表わしている。実施形態 2 における回折光学膜も、実施形態 1 の場合と同様の工程で作製することができる。すなわち、図 7 において、黒色の領域は DLC 層のうちで He イオンビームが照射されて屈折率が高められた領域を表わし、白色の領域は He イオンビームが照射されなかった領域を表わしている。黒色のパターンは、 $4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$  の最小セルの組合せで形成されており、 $132\mu\text{m}$  の周期性を有している。すなわち、図 7 の回折格子パターンにおいて、最小線幅は  $4\mu\text{m}$  である。

図 8 は、実施形態 2 における屈折率変調型回折光学膜を光カプラ（パワー分岐装置）として使用する場合のパワー分岐作用を模式的な断面図で図解している。すなわち、単一波長の光ビームを回折光学膜 DF に入射させれば、その回折光学膜を通過する光の回折角は回折次数に依存して互いに異なる。その結果、単一波長の入射光ビームが、複数の回折光ビームに分離され得るのである。

図 9 は、図 7 の光カプラによって図 8 のようにパワー分岐された複数の回折光ビームに直交する面内におけるビーム分布を示す平面図である。すなわち、パワー P を有する入射光ビームは、それぞれ  $P/16$  のパワーを有する 16 本の回折光ビームに分岐され得る。

本実施形態 2 において、図 7 に示されているような回折格子パターンを有する回折光学膜 DF が一方端面に形成されたコリメータ C の他方端面に光ファイバ F を接続して、 $1.55\mu\text{m}$  の波長を有するビーム径  $350\mu\text{m}$  の光をその回折光学膜 DF に垂直に入射させたところ（図 1 参

照)、図9に示されているように4回対称に分布した16分岐の回折光ビームが得られた。

なお、図9に示されているような複数の回折光ビームの分布パターンを実現し得る図7の回折格子パターンは、周知のようにフーリエ変換を利用して求めることができる。

#### (実施形態3)

実施形態3においては、偏光合分岐の機能を有する回折光学膜を含む光ファイバが作製された。この実施形態3においても、実施形態1の場合と同様の工程で、ライン・アンド・スペースのパターンを有するDLCの回折格子層が形成された。ただし、実施形態3においては、幅0.4  $\mu\text{m}$ の高屈折率領域が0.4  $\mu\text{m}$ の間隔を隔てて繰り返し配列させられた。

図10は、実施形態3における屈折率変調型回折光学膜DFを偏光合分岐器として使用する場合の偏光分岐作用を模式的な断面図で図解している。すなわち、TE成分とTM成分とを含むTEM波を実施形態3における回折光学膜DFに入射させれば、TE波とTM波とはその偏光の相違に依存して互いに異なる回折角で回折される。たとえば、図10に示されているように、0次回折光としてTE波が得られ、-1次回折光としてTM波が得られる。こうして、TE波とTM波との分岐が可能になる。

実施形態3において、イオンビームの斜め照射によって幅0.4  $\mu\text{m}$ の高屈折率領域が0.4  $\mu\text{m}$ の間隔を隔てて繰り返し配列させられた回折格子パターンを有する回折光学膜DFが一方端面に形成されたコリメータCの他方端面に光ファイバFを接続して(図1参照)、1.55  $\mu\text{m}$ の波長を有するビーム径350  $\mu\text{m}$ の光をその回折光学膜DFを介して射出させたところ、TE波とTM波とに分岐することができた。

#### (実施形態4)

実施形態4においては、端面に波長板の機能を有する回折光学膜DFが形成されたコリメータCを端部に備えた光ファイバF(図1参照)が

作製された。この実施形態 4 における回折光学膜においても、実施形態 1 の場合と同様の工程で、ライン・アンド・スペースのパターンを有する D L C の回折格子層が形成された。ただし、実施形態 4 においては、幅  $0.2 \mu\text{m}$  の高屈折率領域が  $0.2 \mu\text{m}$  の間隔を隔てて繰り返し配列させられた。また、本実施形態 4 において用いられた光ファイバ F は、他の実施形態の場合と異なって、単一モードファイバではなくて偏波保持ファイバであった。

そのような偏波保持ファイバ F に波長  $1.55 \mu\text{m}$  の直線偏光を入力して、コリメータ C を介して回折光学膜 D F から射出された光は、円偏光に変換されていた。すなわち、実施形態 4 における回折光学膜 D F は  $1/4$  波長板として機能し、偏光変換作用を生じている。

(実施形態 5)

図 1 1 の模式的な斜視図は、実施形態 5 の光ファイバに応用され得る回折光学素子の光アイソレータとしての機能を模式的に図解している。この回折光学素子においては、石英ガラス基板 3 1 の第 1 主面上に第 1 の D L C 膜 3 2 が形成され、第 2 主面上に第 2 の D L C 膜 3 3 が形成されている。そして、第 1 の D L C 膜 3 2 には、実施形態 3 と同様な回折格子が形成され、第 2 の D L C 膜 3 3 には実施形態 4 と同様な回折格子が形成されている。

波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光ビーム 3 4 を図 1 1 の回折光学素子に入射させれば、偏光分岐器として作用する第 1 の回折格子層 3 2 と  $1/4$  波長板として作用する第 2 の回折光学層 3 3 を通過した光 3 5 は、或る物体に反射されて戻ってきても、光アイソレータとして協働する  $1/4$  波長板 3 3 と偏光分岐器 3 2 を通過して戻ることができない。

実施形態 5 において、図 1 2 の模式図に示されているように、コリメータ C 0 の一端面に光アイソレータの機能を有する回折光学膜 D F が形成され、そのコリメータの他端面に光ファイバ F 0 が接合された。その回折光学膜 D F においては、コリメータ C 0 の一端面上に第 1 の D L C 層 D 1 が形成され、この第 1 の D L C 層 D 1 には実施形態 3 と同様な偏

光分岐機能を有する回折格子が形成された。その後、第1のDLC層D1上に、 $\text{SiO}_2$ の中間層Mと第2のDLC層D2が順次形成された。なお、 $\text{SiO}_2$ の中間層Mは、CVD方やEB（電子ビーム）蒸着法によって形成され得る。そして、第2のDLC層D2には実施形態4と同様な  
5 1/4波長板の機能を有する回折格子が形成された。このとき、中間層Mは、第2のDLC層D2にイオンビームが照射されるときに、そのイオンビームが第1のDLC層D1に入射することを確実に防止し得る。

図12に示されているように、光ファイバF0からコリメータC0を介して波長1.55  $\mu\text{m}$ で断面径350  $\mu\text{m}$ の光ビームを回折光学膜D  
10 Fから射出させた。その場合に、偏光分岐器として作用する第1の回折格子層D1と1/4波長板として作用する第2の回折光学層D2を通過した光L0は、他のコリメータC1を介して他の光ファイバF1に入射後に或る界面などで反射されて戻り光Lbとして戻ってきても、光アイソレータとして協働する1/4波長板D2と偏光分岐器D1を通過して  
15 光ファイバF内に戻ることができなかった。このとき、第1の回折格子層D1への戻り光の通過光強度に対する入射光強度の比率である消光比として、40 dB以上の値が得られた。

#### （実施形態6）

図13は、実施形態6による光ファイバが光コネクタを介して他の光  
20 ファイバに接合されている状態を模式的な断面図で示している。この実施形態6においては、実施形態5の場合と同様な光アイソレータの機能を有する回折光学膜DFが、光ファイバF0の端面上に直接接して形成されている。そして、その回折光学膜DFは、20  $\mu\text{m}$ 以下の全厚を有している。

25 回折光学膜DFを有する光ファイバF0の端部は、FC型光コネクタFC0によって保持されている。その光コネクタFC0は、ファイバ端部を保持するプラグ部PL0と、そのプラグ部をアダプタAD0に結合するための締結ナットN0を含んでいる。同様に、他の光ファイバF1の端部は、FC型光コネクタFC1によって保持されている。その光コ

ネクタ F C 1 も、ファイバ端部を保持するプラグ部 P L 1 と、そのプラグ部をアダプタ A D 1 に結合するための締結ナット N 1 を含んでいる。2つのアダプタ A D 0、A D 1 は、小さなボルトとナット（図示せず）によって互いに接合され得る。

- 5 図 1 3 に示されているように、実施形態 6 においては、従来の光アイソレータの場合のようにコリメータレンズや集光レンズを必要とすることなく、光アイソレータの機能を有する回折光学膜 D F を介して 2 つの光ファイバ F 0、F 1 が直接接続され得る。これは、光アイソレータの機能を有する回折光学膜 D F が  $20 \mu\text{m}$  以下の全厚で形成され得るので、そのように  $20 \mu\text{m}$  以下の小さい距離では光ビームの発散の影響を回避し得るからである。なお、コネクタ F C 0、F C 1 は、2 つの光ファイバ F 0、F 1 の端部同士を互いに当接させるために、スプリング（図示せず）を内蔵している。

- 10 参考のために、図 1 9 は、光通信において用いられる従来のアイソレータを模式的に示している。この図において、光ファイバ F 0 からコリメータ C 0 を介して射出された光ビームは、アイソレータ I L に含まれる第 1 の偏光子 P 1、ファラデー回転子 F R、および第 2 の偏光子 P 2 を通過した後に、コリメータ C 1 を介して光ファイバ F 1 内に導入される。

- 20 図 1 3 と図 1 9 との比較から明らかなように、実施形態 6 においては、従来に比べて非常にコンパクトに、光アイソレータを介して 2 つの光ファイバを当接接続することができる。なお、図 1 3 では光アイソレータを介して 2 つの光ファイバを当接接続するために F C 型コネクタが利用されているが、他の種々の形式のコネクタが利用されてもよいことは言うまでもない。また、例えばシリコン基板面上に形成された V 字型溝内で、光アイソレータを介して 2 つの光ファイバが当接接続されてもよい。

25 なお、以上の実施形態では D L C 膜の屈折率を高めるために H e イオン照射を利用する例について説明されたが、D L C 膜の屈折率を高める



ためには、他の種類のイオン照射、X線照射、電子線照射などをも利用することができる。また、上述の実施形態では1.5  $\mu\text{m}$ から1.6  $\mu\text{m}$ までの波長範囲内の入射光に関して説明されたが、本発明においては、光通信分野において利用される可能性のある0.8  $\mu\text{m}$ ~2.0  $\mu\text{m}$ の範囲内のどのような波長を有する光に対しても使用し得る回折光学膜を有する光ファイバを作製することができる。

さらに、上述の実施形態ではバイナリレベルの回折格子層を含む回折光学膜を有する光ファイバについて説明されたが、DLC層中にマルチレベルや連続変調型の回折格子をも形成し得ることは言うまでもない。

10 その場合には、たとえばエネルギーレベルまたは／およびドーズ量を変化させたエネルギービームをDLC層に照射すればよい。

さらに、上述の実施形態の多くの場合に回折光学膜DFがコリメータの端面上に形成されたが、望まれる場合には、実施形態6のように回折光学膜DFが光ファイバの端面上に直接に形成されてもよいことは言う

15 までもない。

#### 産業上の利用可能性

以上のように、本発明によれば、実用的な屈折率変調型回折光学膜を端部に有する光ファイバを効率的に低コストで提供することができる。

20 また、DLC層を利用することによって実現可能になった屈折率変調型回折光学膜においては、レリーフ型回折光学素子のように表面に微細な凹凸が存在しないので、その表面が汚染されにくくかつ汚染されてもその浄化が容易である。さらに、DLC層は高い耐磨耗を有するので、本発明の光ファイバの一端部に形成された回折光学膜はその表面が破損さ

25 れにくい観点からも好ましい。

## 請求の範囲

1. 端部に回折光学膜を有する光ファイバであって、

前記回折光学膜は前記光ファイバの端面上またはその端面に接合された  
5 コリメータの端面上に形成された透光性DLC層を含み、

このDLC層は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低屈折率の局所的領域とを含む回折格子を含んでいることを特徴とする光ファイバ。

2. 前記回折光学膜は、複数の波長を含む1つの光ビームを波長に依  
10 存して複数の光ビームに分割することができ、かつ異なる波長を有する複数の光ビームを単一の光ビームに合体させことができる波長合分歧の機能を有することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

3. 前記回折光学膜は、単一波長の光ビームを複数の光ビームに分割  
15 することができ、かつ単一波長の複数の光ビームを単一の光ビームに合体させことができるパワー合分歧の機能を有することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

4. 前記回折光学膜は、単一波長の光ビームに含まれるTE波とTM波を分離できかつ合体させることができる偏光合分歧の機能を有することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

20 5. 前記回折光学膜は、単一波長の光ビームに含まれるTE波またはTM波に対して波長板の機能を有することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

6. 端部に回折光学膜を有する光ファイバであって、

前記回折光学膜は前記光ファイバの端面上またはその端面に接合された  
25 たコリメータの端面上に順次積層された第1の透光性DLC層と第2の透光性DLC層を含み、

前記第1と第2のDLC層の各々は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低屈折率の局所的領域とを含む回折格子を含んでおり、

前記第1のDLC層は単一波長の光ビームに含まれるTE波とTM波

を偏光分離することができる偏光分岐の機能を有し、

前記第2のDLCL層は単一波長の光ビームに含まれるTE波またはTM波に対して波長板の機能を有し、

5 前記第1と第2のDLCL層は協働して光アイソレータの機能を有することを特徴とする光ファイバ。

7. 前記回折光学膜は前記光ファイバの端面上に形成されていて、 $20\mu\text{m}$ 以下の厚さを有していることを特徴とする請求項6に記載の光ファイバ。

10 8. 前記回折光学膜が形成されている前記光ファイバの端部は他の光ファイバの端面と当接接続させるためのコネクタに保持されていることを特徴とする請求項7に記載の光ファイバ。

9. 前記第1のDLCL層と前記第2のDLCL層との間に透光性中間層が挿入されていることを特徴とする請求項6から8のいずれかに記載の光ファイバ。

15 10. 前記回折光学膜は $0.8\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ の範囲内の波長を含む光に対して作用し得る前記回折格子を含んでいることを特徴とする請求項1から9のいずれかに記載の光ファイバ。

20 11. 請求項1から10のいずれかに記載された光ファイバを製造する方法あって、前記DLCL層に所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって、前記回折格子に含まれる前記高屈折率領域を形成することを特徴とする光ファイバの製造方法。

12. 請求項9に記載された光ファイバを製造する方法あって、

前記前記光ファイバの端面上またはその端面に接合されたコリメータの端面上に前記第1のDLCL層を堆積し、

25 その第1のDLCL層に第1の所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって前記高屈折率領域を形成し、

前記透光性中間層と前記第2のDLCL層を順次堆積し、

その第2のDLCL層に第2の所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって前記高屈折率領域を形成し、

前記透光性中間層は前記第 2 の所定のパターンでエネルギービームを前記第 2 の D L C 層に照射するときそのエネルギービームが前記第 1 の D L C 層に影響を及ぼすことを防止するように作用することを特徴とする光ファイバの製造方法。

- 5      1 3 . 前記エネルギービームは、X 線、電子線、およびイオンビームから選択されることを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 に記載の光ファイバの製造方法。

1 4 . 前記 D L C 層はプラズマ C V D 法によって堆積されることを特徴とする請求項 1 1 から 1 3 のいずれかに記載の光ファイバの製造方

- 10    法。

FIG. 1

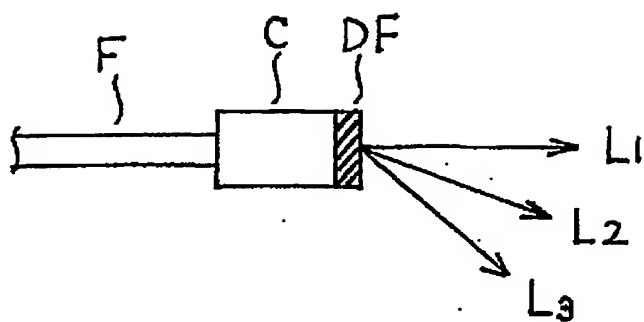


FIG. 2

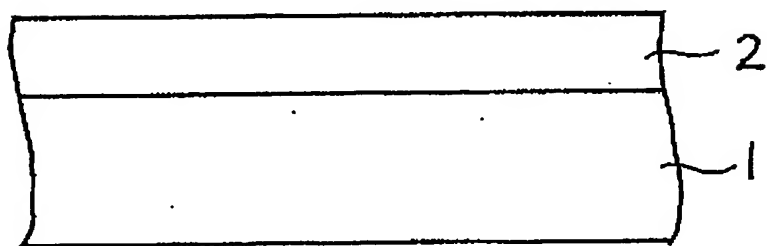


FIG. 3

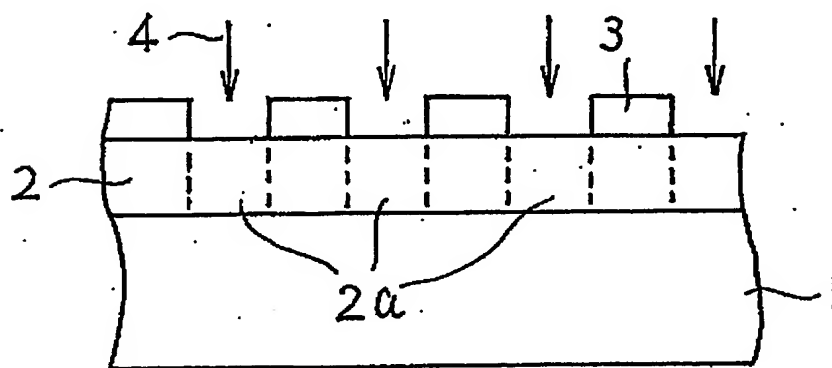


FIG. 4

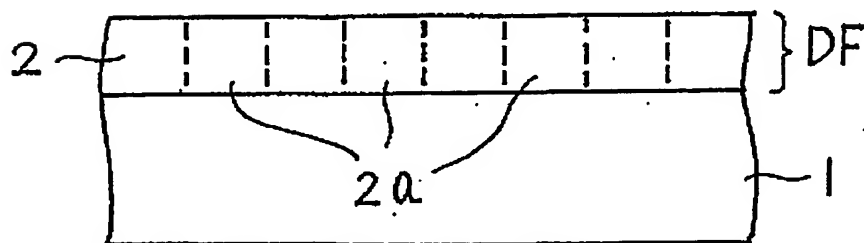


FIG. 5

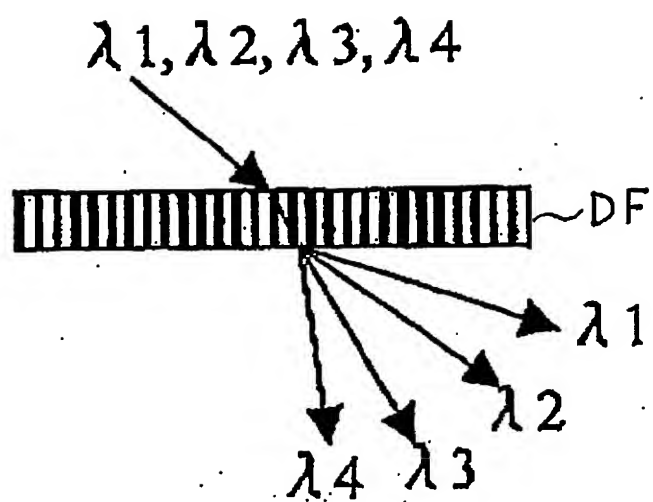


FIG. 6

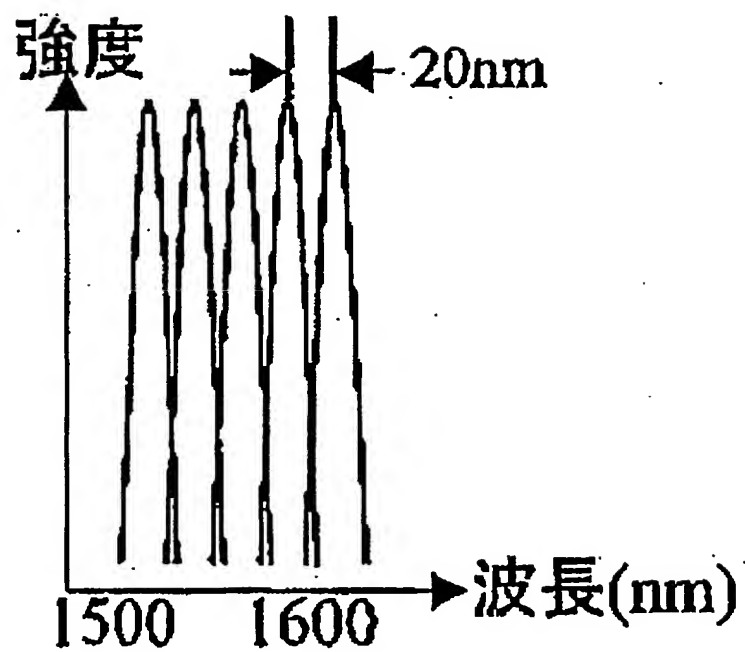


FIG. 7

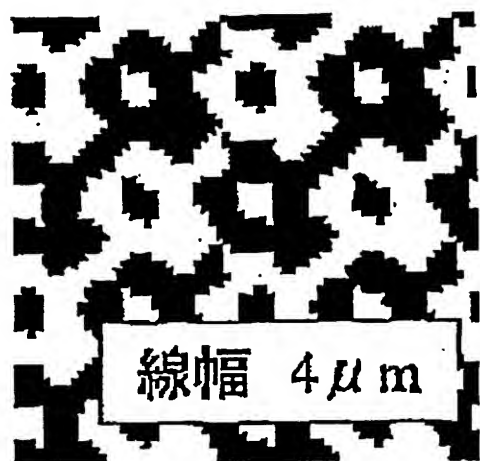


FIG. 8

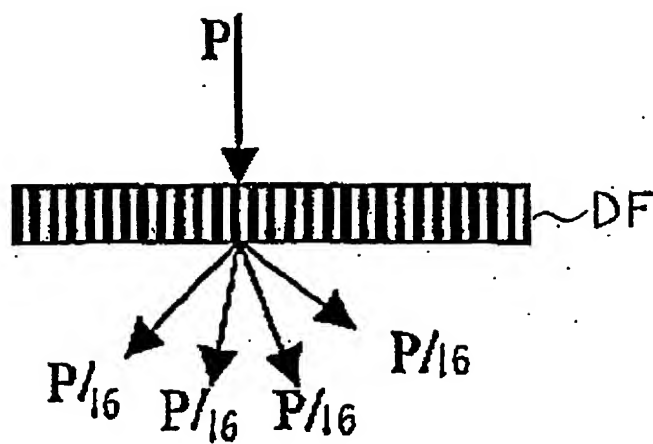


FIG. 9

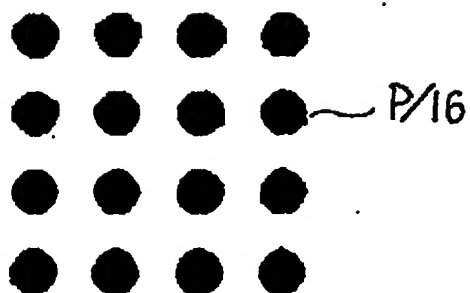


FIG. 10

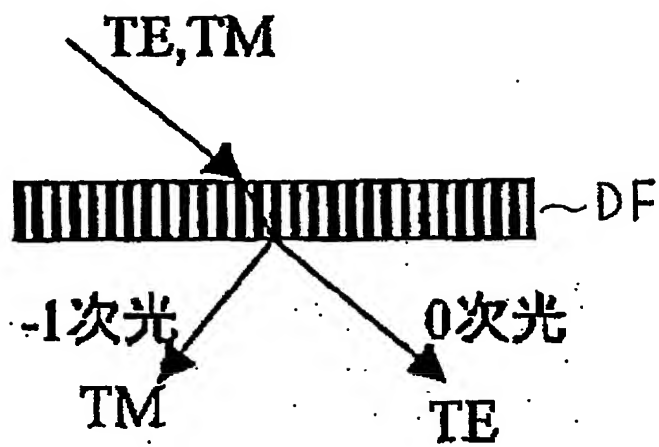


FIG. 11

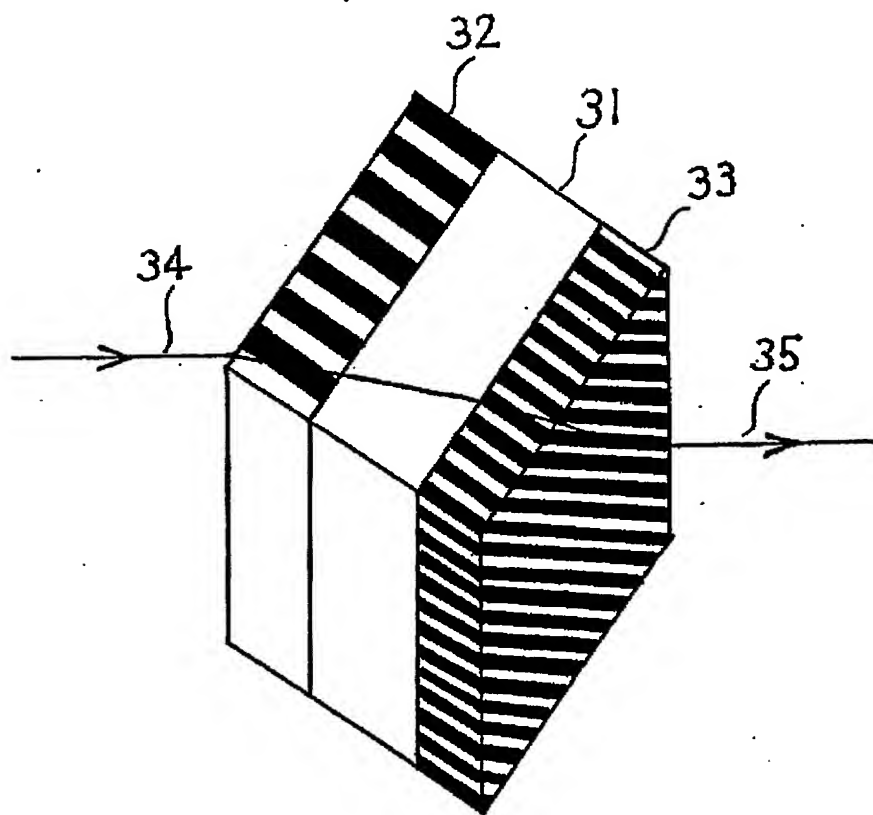




FIG. 12

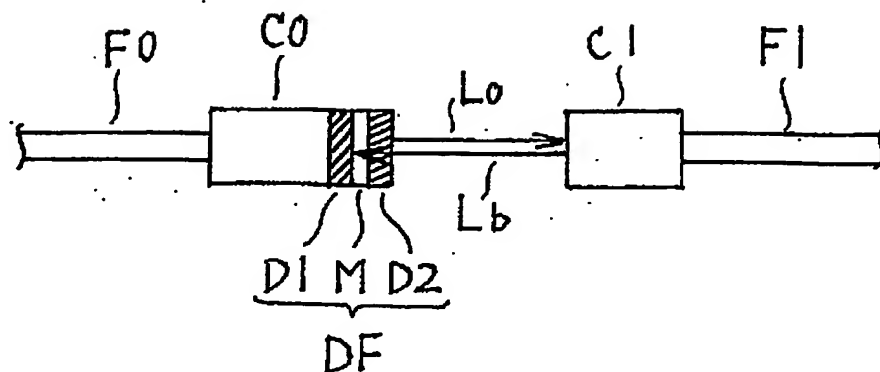


FIG. 13

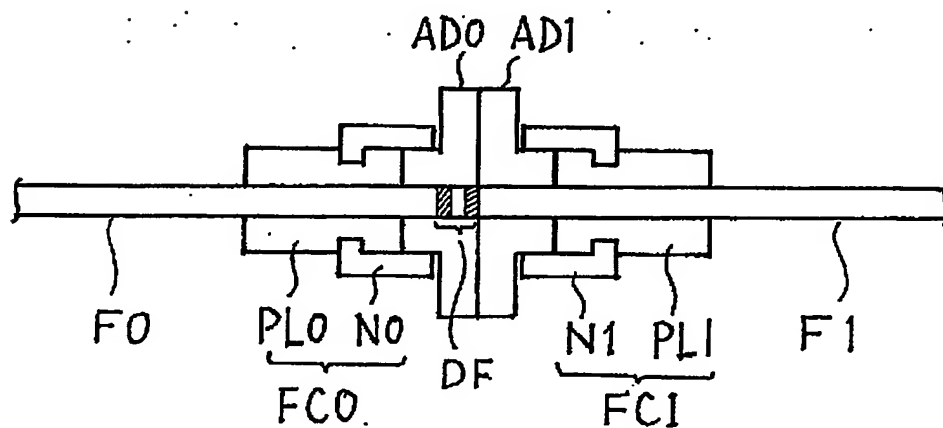


FIG. 14

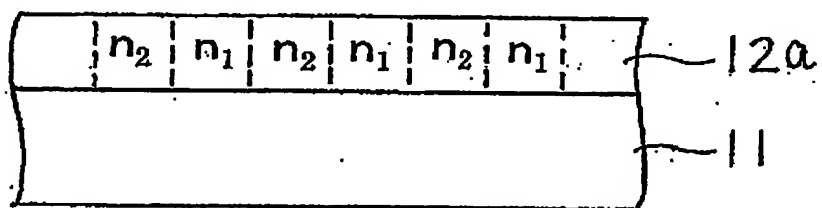


FIG. 15

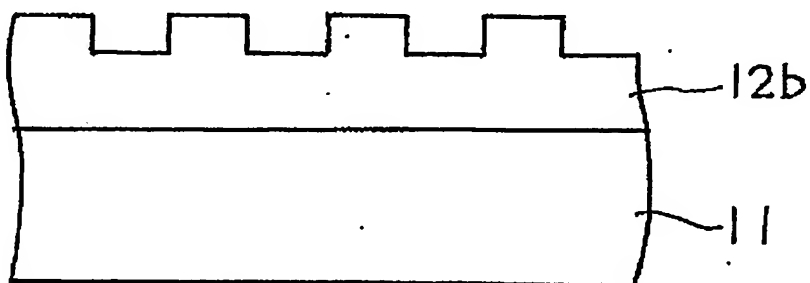


FIG. 16

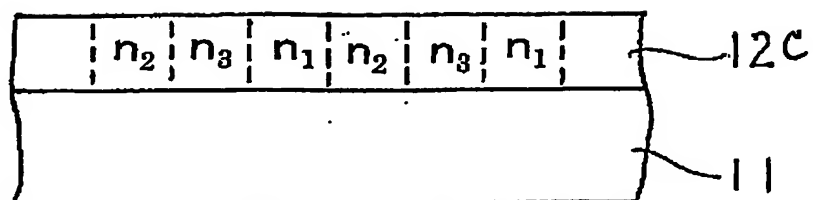


FIG. 17

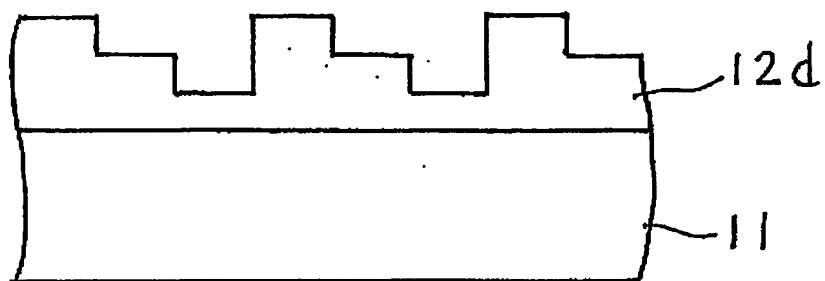


FIG. 18

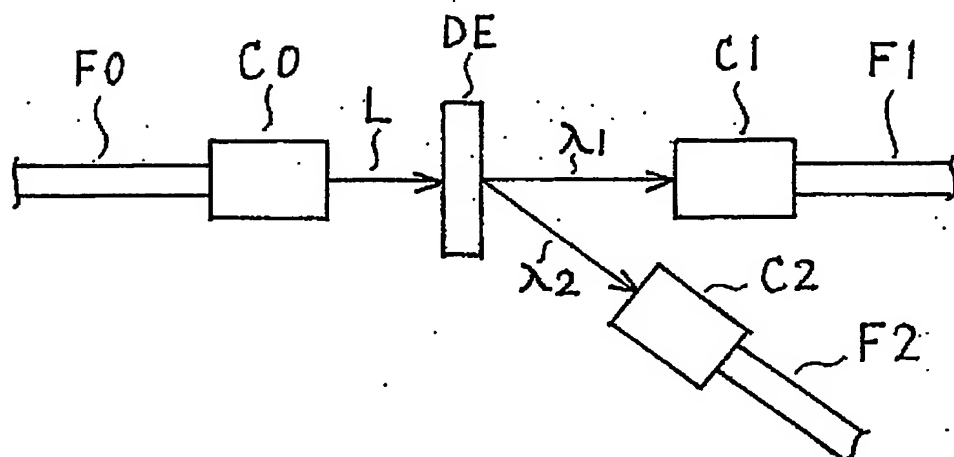
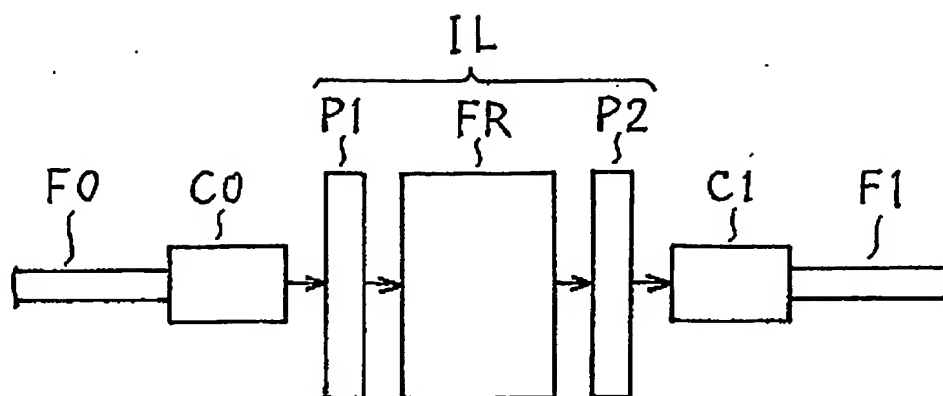


FIG. 19



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/15563

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/10, G02B6/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/10, G02B6/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
JOIS (JSTPLUS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1162519 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORP.), 12 December, 2001 (12.12.01), Full text; all drawings (particularly, Claim 1; example 6) & JP 2001-236002 A & US 2002/126333 A1 & WO 01/44879 A1	1-14
Y	JP 2000-137138 A (Canon Inc.), 16 May, 2000 (16.05.00), Full text; all drawings (particularly, Par. Nos. [0072] to [0079]; Figs. 10 to 12) (Family: none)	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search  
10 March, 2004 (10.03.04)

Date of mailing of the international search report  
23 March, 2004 (23.03.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15563

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4747654 A (ALFREDO YI-YAN), 31 May, 1988 (31.05.88), Full text; all drawings (particularly, Fig. 2) & JP 59-220705 A & EP 126686 A1 & DE 3473514 D	3
Y	JP 61-230107 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 October, 1986 (14.10.86), Full text; all drawings (particularly, Claims 1, 2) (Family: none)	3
Y	GLASER, T. et al., Diffractive optical isolator made of high-efficiency dielectric gratings only., In: APPLIED OPTICS, 20 June, 2002 (20.06.02), Vol.41, No.18, pages 3558 to 3566	4-9
Y	JP 10-62625 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 06 March, 1998 (06.03.98), Full text; all drawings (particularly, Par. Nos. [0086] to [0091]; Figs. 6, 8) (Family: none)	8,9
Y	JP 9-318980 A (Minolta Co., Ltd.), 12 December, 1997 (12.12.97), Full text; all drawings (particularly, Par. No. [0015]) (Family: none)	13
Y	US 4647512 A (THE PERKIN-ELMER CORP.), 03 March, 1987 (03.03.87), Full text; all drawings & JP 62-278264 A & EP 238085 B1 & DE 3783381 D	14
A	Makoto FUJIMAKI et al., "Ko-energy Ion Shosha ni yuru Silica Garasu no Komitsudoka", The Institute of Electrical Engineers of Japan Kenkyukai Shiryo, Yuden-Zetsuen Zairyo Kenkyukai DEI-00-14, pages 19 to 24	13
A	HEIBEI, J. et al., Refractive Index Profiles of Ion-Implanted Fused Silica., In: physica status solidi (a), February 1980, Vol.57, No.2, pages 609 to 618	13

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/10, G02B6/34

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/10, G02B6/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS(JSTPLUS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	EP 1162519 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION) 2001. 12. 12 全文, 全図 (特に、請求項1及び実施例6) & JP 2001-236002 A & US 2002/126333 A1 & WO 01/44879 A1	1-14
Y	JP 2000-137138 A (キヤノン株式会社) 2000. 05. 16 全文, 全図 (特に、段落72-79及び図10-12) (ファミリーなし)	1-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10. 03. 04

国際調査報告の発送日

23. 3. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉田 英一

印

2K

3103

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 4747654 A (ALFREDO YI-YAN) 1988. 05. 31 全文, 全図 (特に、第2図) & JP 59-220705 A & EP 126686 A1 & DE 3473514 D	3
Y	JP 61-230107 A (住友電気工業株式会社) 1986. 10. 14 全文, 全図 (特に、請求項1, 2) (ファミリーなし)	3
Y	GLASER, T. et al. Diffractive optical isolator made of high-efficiency dielectric gratings only. In: APPLIED OPTICS, 20 June 2002, Vol. 41, No. 18, P. 3558-3566	4-9
Y	JP 10-62625 A (松下電器産業株式会社) 1998. 03. 06 全文, 全図 (特に、段落86-91及び図6, 8) (ファミリーなし)	8, 9
Y	JP 9-318980 A (ミノルタ株式会社) 1997. 12. 12 全文, 全図 (特に、段落15) (ファミリーなし)	13
Y	US 4647512 A (THE PERKIN-ELMER CORPORATION) 1987. 03. 03 全文, 全図 & JP 62-278264 A & EP 238085 B1 & DE 3783381 D	14
A	藤巻真ほか, “高エネルギーイオン照射によるシリカガラスの高密度化”, 電気学会研究会資料, 誘電・絶縁材料研究会DEI-00-14, P. 19-24	13
A	HEIBEI, J. et al. Refractive Index Profiles of Ion-Implanted Fused Silica. In: physica status solidi (a), February 1980, Vol. 57, No. 2, P. 609-618	13